

Analyse des difficultés des élèves marocains de 15-16 ans en résolution de problèmes de mécanique (mouvement et repos, interactions mécaniques et forces, poids et masse)

ALI OUASRI

Centre Régional des Métiers de l'Education
et de la Formation, Rabat
Maroc
aouasri@yahoo.fr

ABSTRACT

This paper studies the difficulties encountered by Moroccan pupils (15-16 years) of six classes of the third collegial year in solving problems of mechanic (movement and rest, mechanical interactions and forces, weight and mass). The analysis of the pupils' written productions is made in terms of successful, failed and untreated tasks that required pupils to mobilize declarative or procedural knowledge. The majority of pupils encountered difficulties to reach the autonomous step in the production process of procedural knowledge. But, it is abnormal that these pupils carried out with success tasks requiring the mobilization of procedural knowledge better than those involving declarative knowledge. Then, the organization of tasks on the development of pupils' knowledge did not have the same impact envisaged by the approach of the hierarchy prevalence of problems from the simple to the complex.

KEYWORDS

Problems solving, knowledge, task, declarative, procedural, hierarchy

RÉSUMÉ

Cette étude porte sur les difficultés rencontrées par les élèves (15-16 ans) de six classes de troisième année de secondaire collégial marocain en résolution de problèmes de mécanique (mouvement et repos, interactions mécaniques et forces, poids et masse). L'analyse des productions écrites des élèves est effectuée en termes de tâches (réussies, échoués et non traités) en rapport avec les connaissances

déclaratives et procédurales nécessaires pour réaliser ces tâches. La plupart des élèves éprouvent des difficultés pour atteindre l'étape autonome dans le processus de production des connaissances procédurales. Néanmoins, il est anormal que ces élèves aient réussi des tâches nécessitant des connaissances procédurales beaucoup mieux que celles relatives aux connaissances déclaratives. L'organisation des tâches sur l'élaboration des connaissances chez les élèves ne semble pas avoir l'impact que l'envisageait l'approche de la prévalence d'une hiérarchisation des problèmes du simple vers le complexe.

MOTS-CLÉS

Résolution de problèmes, connaissance, tâche, déclarative, procédurale, hiérarchisation

INTRODUCTION

La conception et l'élaboration des projets d'enseignement semblent être des étapes cruciales vers le développement de stratégies efficaces d'enseignement. Cependant, il est nécessaire de procéder à un repérage et une analyse des obstacles à l'apprentissage qui peuvent être générés par le contenu du savoir à enseigner en rapport avec les activités de résolution de problèmes.

Pour les psychologues, le concept de problème désigne généralement une situation dont un système cognitif (humain ou artificiel) est confronté à une tâche. Le problème est alors défini comme la représentation qu'un système cognitif construit à partir d'une tâche, sans disposer immédiatement d'une procédure admissible pour atteindre le but. La construction de la représentation de la tâche est appelée compréhension alors que la construction de la procédure est désignée stratégie de résolution (Hoc, 1987). Comprendre un énoncé consiste donc à en construire une représentation ; cette construction est circonstancielle du fait qu'elle est liée à la tâche que le sujet devrait effectuer.

Gagné (1985), Glover et al. (1990) et Sall (2002) stipulent que la situation de départ et le but à atteindre sont les deux pôles fondamentaux d'un problème. Un apprenant en activité de résolution de problèmes, devrait développer des procédures et stratégies entre la situation de départ et le but à atteindre à travers trois états essentielles:

- Un état de départ bien identifié et caractérisé par le contexte (donnée du problème, précision des contraintes, état physique et mental, conditions matérielles, ...).
- Un état intermédiaire qui est un processus dynamique à définir pour rallier l'état final à partir de l'état de départ.
- Un état final identifié par un but qui ferme la boucle par le retour au contexte.

Les problèmes fermés nécessitent seulement la recherche des formules à appliquer de la part du sujet qui peut aisément identifier les données servant à leur résolution.

Dans les problèmes ouverts, qualitatives, le recours à la formule n'est aussi possible car les éléments utiles à la résolution ne sont pas évidents; les élèves doivent transformer ou réorganiser des données dont ils disposent pour trouver une solution.

Quoique la classification des problèmes (Greeno, 1978), un individu face à un problème peut réaliser deux objectifs: tester ses compétences ou ses connaissances et les développer. La mise en situation de problèmes est alors un outil pédagogique privilégié qui permet non plus d'évaluer les acquisitions des élèves, mais aussi de les développer. Les élèves réalisent deux tâches: résoudre le problème et apprendre de cette résolution.

Dans le domaine de la physique, Goffard (1994) avait développé la résolution de problèmes suivant trois orientations : la première porte sur les stratégies, les raisonnements et les difficultés des élèves en résolution de problème, la deuxième est axée sur l'étude des différents aspects des situations problèmes offertes aux élèves, et la troisième concerne les aides à apporter aux élèves pour développer leurs stratégies en matière de résolution de problème et les faire apprendre en résolvant des problèmes.

Le présent article contient six parties: la première réservée au cadre théorique qui discute de point de vue psychologie cognitive (modèle de traitement de l'information) le concept de connaissances déclaratives et procédurales intervenant dans la résolution de problèmes. La deuxième partie concerne la problématique de la résolution de problèmes de mécanique dans le contexte collégial marocain. La troisième partie illustre la méthodologie et les problèmes soumis aux élèves pour la résolution. Dans la quatrième partie, sont présentés les résultats obtenus et qui sont analysés et discutés dans la cinquième partie avant de dégager certaines conclusions sur les difficultés auxquelles sont confrontés les élèves de troisième année du collège lors des activités de résolution de problèmes en mécanique.

CADRE CONCEPTUEL

La résolution de problèmes considérée comme une activité cognitive finalisée au service d'une tâche à effectuer dans une situation donnée (Richard, 1990; Goffard & Goffard, 2003) fait appel à des activités mentales et processus intellectuels mettant en jeu des connaissances pouvant être acquises (construites) par des processus intellectuels antérieurs. La résolution de problèmes est beaucoup utilisée dans les activités scolaires destinées à guider l'apprentissage ou évaluer les acquisitions des élèves. De point de vue psychologique, la résolution de problèmes est en relation avec le processus d'acquisition et de construction du savoir scientifique (Sall, 2002); ce qui renvoie au concept de connaissances déclarative, procédurale et stratégique ou conditionnelle.

Dans ce qui suit, on s'intéresse aux fondements du cognitivisme en rapport avec la résolution de problèmes dans l'enseignement-apprentissage et aux catégories de

connaissances que les élèves devraient mobiliser pour la réalisation d'une tâche lors de la résolution de problèmes, avant de terminer par une discussion de l'impact de l'organisation des tâches sur l'élaboration des connaissances.

Cognitivism et connaissances

Le cognitivism s'intéresse aux mécanismes permettant d'acquérir, d'intégrer et de réutiliser les connaissances en proposant des modèles à propos de la structure de la pensée et des processus intellectuels. Piaget et Vygotski avaient apporté des éclairages importants sur le développement cognitif, malgré leurs itinéraires croisés (Ravanis, 2010). Le développement intellectuel chez Piaget tient compte des stades qui déterminent l'apprentissage dans une dynamique allant de l'intra-psychique vers l'inter-psychique, alors que Vygotski postule un mouvement inverse. Le cognitivism de Piaget et le socio-cognitivism de Vygotski semblent être un cadre théorique qui permet de cerner et interpréter les multiples dimensions du concept de résolution de problèmes.

Le modèle de traitement de l'information connu pour la psychologie cognitive (Newell & Simon, 1972; Gagné, 1985; Glover et al., 1990) a apporté beaucoup d'éclairages sur la résolution de problèmes en apprentissage. En partant de la structure des connaissances fondant les activités de résolution de problèmes, la psychologie cognitive fournit des concepts et démarches d'analyse des processus mis en jeu dans l'enseignement/apprentissage, et de vérification de la pertinence et l'efficacité de ces connaissances dans l'analyse des situations d'apprentissage ; ce qui permet d'opérationnaliser l'analyse des processus cognitifs complexes en rapport avec les connaissances et la mémoire, deux éléments essentiels pour le sujet en situation de résolution de problèmes.

En psychologie cognitive, une connaissance est constituée du sens qu'un sujet attribue à une expérience vécue. La diversité des significations tirées des expériences implique une diversité de connaissances indispensables à la réalisation des tâches complexes. Selon Tardif (1992), le rôle des connaissances et stratégies spécifiques constituent une donnée fondamentale dans l'apprentissage et la résolution de problèmes. Tardif a présenté un modèle d'apprentissage fondé sur l'importance de l'appropriation graduelle et effective des stratégies cognitives et métacognitives (générales et spécifiques aux tâches proposées) jugées nécessaires à une démarche structurée d'apprentissage ; ce modèle visait à susciter l'engagement cognitif et affectif (motivation scolaire) de l'apprenant, de lui montrer comment traiter les informations d'une façon adéquate, et de l'amener à effectuer des transferts.

La classification des connaissances dépend de la diversité des expériences et la spécificité des tâches, et l'acquisition des connaissances se fait selon un processus de trois phases distinctes:

- La première phase concerne l'encodage des connaissances déclaratives, considérées comme des informations passives restituées sans modification et sans traitement, sous

forme de faits relatifs à un domaine (Neves & Anderson, 1981). Ces connaissances correspondant aux principes, définitions, règles, lois et relations propres à un domaine (Gagné, 1985) ne permettent pas à un apprenant devant une tâche d'aller directement vers l'action sans procéder à des traitements et des interprétations.

- La deuxième phase d'acquisition est la procéduralisation (connaissances procédurales): les connaissances déclaratives se transforment en procédures articulées entre elles (Neves & Anderson, 1981), et le sujet passerait à un niveau d'acquisition des connaissances procédurales constituées des habilités à utiliser les connaissances déclaratives pour atteindre le but fixé. Un désencombrement de la mémoire s'opère donc au niveau de l'individu qui manifeste une plus grande rapidité d'action et de meilleures performances.
- La troisième phase d'acquisition concerne la composition ou l'organisation (Neves & Anderson, 1981). À ce propos, Anderson a mis au point un modèle ATC (Contrôle Adaptatif de la Pensée) pour montrer comment les connaissances les plus complexes peuvent être construites sur la base d'une articulation entre connaissances procédurales et connaissances déclaratives. La construction de compétences est un processus cumulatif dans lequel l'élève devrait acquérir les connaissances et être capable de mettre en œuvre les compétences adéquates selon la situation qu'il aurait à traiter. La sélection des connaissances adéquates dépend d'un processus d'activation qui reflète la fréquence de succès d'une compétence dans un contexte particulier.

La classification en termes de connaissances déclaratives, procédurales et connaissances d'intégration a été affinée par l'introduction des connaissances contextuelles ou conditionnelles (Anderson, 1983, 1985; Glover et al., 1990). Seules les connaissances déclaratives et procédurales ont été retenues au niveau scolaire.

Difficultés des élèves lors de la résolution de problèmes

Les difficultés d'appropriation par les apprenants des concepts scientifiques lors des activités de résolution de problèmes en classe ont été largement abandonnées dans plusieurs recherches didactiques (Caillot, Dumas Carré & Goffart, 1988; Goffard, 1994; Giordan, 1998; Boilevin, 2005; Orange, 2005; Mazouze, 2011; Ntalakoura & Ravanis, 2014; Mazouze & Lounis, 2015; Mazouze, 2016).

Plusieurs de ces recherches ont montré que les difficultés des élèves en résolution de problèmes de physique sont aussi bien d'ordre phénoménologique que conceptuel. L'apprentissage des élèves en résolution de problèmes de mécanique, supposée un domaine de connaissances sémantiquement structurés, se caractérise par des difficultés relatives à la complexité et l'abstraction de certains phénomènes comme les interactions mécaniques et les forces. En général, ces difficultés peuvent être dus:

- À la compréhension défectueuse des consignes et de certains mots par des élèves qui se lancent tout de suite dans la réalisation des tâches sans faire des vérifications détaillées de ce qui leur est réellement demandé.
- Au manque d'attention, de rigueur et d'investissement : certains élèves commettent des erreurs comme le changement de signe d'un nombre et l'oubli des unités, alors que d'autres se lassent parfois très vite et n'abordent pas tous le problème.
- Au manque de pré-requis chez plusieurs élèves n'ayant pas de compétences au niveau du calcul numérique.
- Au manque de stratégies et de réflexes logiques, surtout pour les élèves n'ayant pas d'expériences en résolution de problèmes (novices).
- Au manque de représentations mentales : les élèves qui ne se représentent pas bien l'énoncé ne peuvent pas appréhender une telle situation. À ce propos, Sweller (2003) a attribué l'élaboration des schémas aux représentations mentales abstraites, stockés en mémoire, permettant d'analyser, de structurer et d'interpréter des informations nouvelles ; ces schémas servent de modèle pour traiter l'information et diriger les comportements. La schématisation d'une expérience dans un problème de physique est nécessaire à la résolution du problème puisqu'elle permet de réorganiser et de synthétiser les informations données.

Impact de l'organisation des tâches en résolution de problèmes

Plusieurs travaux ont été développés sur l'impact de l'organisation des tâches sur l'élaboration des connaissances ; ces travaux sont regroupés en trois approches :

- La première approche concerne les travaux de l'interférence contextuelle observant une prévalence de la variabilité sur la consistance en résolution de problèmes (Carlson & Yaure, 1990; Schmidt & Bjork, 1992; Van Merriënboer, Kester & Pass, 2006). Ces travaux indiquent qu'une bonne réussite dans l'apprentissage ne garantit pas une réussite face aux nouveaux problèmes, et une haute variabilité qui gêne la réussite en phase d'apprentissage semble favoriser l'apprentissage puisqu'elle permet une meilleure réussite face aux problèmes de transfert. Selon cette approche, le mode d'organisation de la tâche est un facteur qui influence l'apprentissage en résolution de problèmes.
- La seconde approche « Instructional Design » s'interroge plus spécifiquement sur la prise en compte de la charge cognitive dans l'élaboration d'une tâche de résolution de problèmes (Pass & van Merriënboer, 1993; Salden, Paas & van Merriënboer, 2006; Pass, Renkl & Sweller, 2003; De Croock & van Merriënboer, 2007). Cette approche souligne également l'importance du mode d'organisation de la tâche. La prise en compte de la charge cognitive dans le mode d'instruction choisi en résolution de problèmes permet de favoriser l'apprentissage. La question que posent ces travaux est comment organiser l'apprentissage d'une compétence/connaissance pour que l'apprenant puisse

élaborer cette compétence/connaissance, avec une meilleure réussite, une meilleure rétention, une meilleure compréhension, un faible taux d'erreurs et une bonne élaboration des schémas. À ce propos, Salden et al. (2006) distinguent les approches statique et dynamique comme modes de sélection des tâches.

- La troisième approche observant la prévalence d'une hiérarchisation des problèmes du simple vers le complexe (Gagné, 1962; Gagné, 1968; Frederiksen & White, 1989) est basée sur l'observation qu'une compétence s'appuie sur des prérequis ou des compétences de base qui devaient être acquises avant des compétences plus complexes (Gagné, 1962). L'apprenant est ainsi conduit à maîtriser une nouvelle tâche (connaissance ou compétence) progressivement à un niveau hiérarchique de plus en plus important jusqu'à atteindre le niveau final de la tâche. La réussite d'un problème complexe ne semble donc pas pouvoir se faire sans étayage. Frederiksen et White (1989) proposent quant à eux un mode d'instruction basé sur la décomposition de la tâche en sous-buts et la mise en place de situations permettant d'acquérir progressivement les compétences liées à ces sous-buts. Ils montrent que des apprenants soumis à ce type d'instruction organisé réussissent davantage la tâche que les participants qui réalisent directement cette tâche.

PROBLÉMATIQUE

Dans les disciplines scientifiques, les activités de résolution de problèmes sont incontournables dans l'apprentissage et l'évaluation des acquisitions des élèves. Mais que prennent-ils les élèves au cours des activités de résolution de problèmes? Prennent-ils à résoudre des problèmes en utilisant des méthodes et stratégies qui leur permettraient d'affronter des problèmes nouveaux, et d'utiliser leurs connaissances dans des situations qui ne ressembleraient pas à celles déjà étudiées?

Les recherches en didactique de la résolution de problèmes sont traversées par différents courants allant du paradigme expert/novice (Chi, Feltovitch & Glaser, 1981) aux recherches axées sur le développement des capacités en résolution de problèmes dans une perspective d'augmenter les performances des élèves par des évaluations type classiques (Reif, 1983; Caillot et al., 1988; Dumas Carré & Goffard, 1997; Mazouze, 2016). Selon le paradigme expert/novice, le rôle des connaissances, en particulier procédurales permettant de faire une bonne représentation du problème, est incontournable (Chi et al., 1981; Caillot et al., 1988; Dumas Carré & Goffard, 1997). Dans leurs tentatives de mettre la résolution de problèmes au service de la construction des concepts physiques, Dumas Carré et Goffard (1997) ont montré qu'il est possible de dépasser la situation difficile des apprenants face aux problèmes de physique. Le cadre problématique implicite de ces recherches place les élèves au centre des préoccupations en adéquation avec les positions les plus novatrices en psychologie de l'apprentissage.

De point de vue didactique, la résolution de problèmes est prise en charge au niveau scolaire à travers trois perspectives: évaluation des acquis, apprentissage des concepts scientifiques (Mazouze & Lounis, 2015), et support à la recherche très peu utilisé au niveau scolaire. Dans le contexte marocain, on s'intéresse aux deux premières perspectives. L'évaluation des acquis des élèves marocains en activités résolution de problèmes montre que beaucoup d'élèves sont confrontés à des difficultés qui rendent leurs performances en activités de résolution de problèmes insatisfaisantes.

À cet effet, on se propose dans ce travail d'étudier les difficultés des élèves marocains en résolution de problèmes de mécanique. Certaines questions peuvent donc être posées: Pourquoi les performances des élèves lors des activités de résolution de problèmes sont-elles faibles? Peut-on attribuer cet échec à l'élève lui-même? À l'enseignement qu'il a reçu? i.e. à l'enseignant? À tous ces facteurs ensemble? Ou à l'organisation des problèmes présentés?

Pour illustrer ces difficultés, il serait souhaitable de mener une recherche empirique sur des élèves de secondaire collégial marocain en situation de résolution de problèmes type scolaires, i.e. ceux utilisés pour tester généralement les connaissances déclaratives et procédurales acquises par les élèves au terme d'un court cursus. Mais il serait important pour identifier les connaissances d'élèves d'utiliser des situations variées qui permettent l'activation des différentes connaissances des élèves et de les mettre en œuvre. C'est pourquoi, nous nous sommes proposés de soumettre aux élèves des problèmes portant sur des thèmes différents en mécanique (mouvement et repos, interactions mécaniques et forces, poids et masse).

MÉTHODOLOGIE

Cette étude vise à analyser les productions écrites des élèves de troisième année du secondaire collégial marocain, soumis aux activités de résolution de problèmes de mécanique. L'analyse des reproductions des élèves a été développée en ayant divisé chaque question d'un problème en tâches susceptibles d'être réalisées par les élèves; puis en ayant effectué un dénombrement de réponses obtenues en termes de tâches réussites, échouées et non traitées. D'autre part, une classification des tâches à réaliser par les élèves selon que leur réponse nécessite la mobilisation des connaissances déclaratives, procédurales ou les deux à la fois a été réalisée. La méthodologie adoptée ici consiste à définir la population cible ainsi que les méthodes d'investigation et les instruments de collecte de données.

Population cible

Cette étude a été réalisée au terme de l'année scolaire 2014-2015 sur 140 élèves (15-16 ans) appartenant à six classes des sciences de troisième année de secondaire

collégial de deux collèges Ibn Khaldoun (trois classes) et Al Ferdaousse (trois classes) se situent dans la ville de Temara (Maroc). Chaque classe bénéficie de deux heures de cours hebdomadaires en matière de physique-chimie. Les élèves travaillent en journée continue de 8 à 17 heures avec une pause de deux heures. Le choix de la population cible tient compte de l'importance des activités de résolution de problèmes, pour les élèves de troisième année de secondaire collégial, dans le cadre des évaluations continues et des examens régionaux qui permettent à ces élèves de passer au cycle secondaire qualifiant.

Méthode d'investigation et instruments

L'analyse des productions écrites des élèves soumis à des activités de résolution des problèmes de mécanique est effectuée en termes de tâches réalisées, échouées et non traitées sur la base des grilles servant d'analyse de contenus (tableaux 1, 2, 3) ; ces grilles ont été construites et adoptées d'une part conformément aux questions posées dans les problèmes 1, 2, 3 soumis aux élèves et d'autre part en considérant l'approche constructiviste et du traitement de l'information. Ce qui permet d'examiner les blocages et les erreurs des élèves au cours de la résolution de problèmes de mécanique afin de proposer certaines remédiations.

Trois problèmes ont été soumis aux élèves. Le premier problème (1) traite du mouvement et repos, le deuxième (2) porte sur les interactions mécanique et les forces, et le troisième (3) vise le poids et la masse. Ces problèmes (Annexe) faisant partie intégrante du programme de mécanique en troisième année du secondaire collégial marocain permettent d'étudier les acquisitions de connaissances (compétences) par les élèves, déceler certaines difficultés auxquelles sont confrontés les élèves lors des activités de la résolution de problèmes, et leur apporter certains appuis nécessaires à développer leurs habilités de résolution de problèmes.

RÉSULTATS

La réussite des tâches par les élèves en activités de résolution de problèmes dépend de la capacité à mobiliser leurs connaissances. Ainsi, nous avons décomposé les productions écrites des élèves en différentes tâches (T1, T2, ...) à effectuer lors de résolution de problèmes. Ensuite, nous avons dénombré les tâches réussies, échouées et non traitées, et les analysées selon que leur réponse mobilise une connaissance déclarative, procédurale ou les deux connaissances à la fois. Le dénombrement des tâches réalisées ou non par les élèves est donné dans le tableau 1 pour le problème 1 (mouvement et repos), le tableau 2 pour le problème 2 (interactions mécanique et forces) et le tableau 3 pour le problème 3 (poids et masse).

TABLEAU 1

Résultats relatifs au problème 1 (mouvement et repos) en termes du nombre d'élèves (CD: connaissance déclarative, CP: connaissance procédurale, Da: distance d'arrêt du véhicule, Dr: distance de réaction, Df: distance de freinage, tr: temps de réaction)

Q	Les tâches à faire	CD	CP	Réussite	Echec	Non traité
1	T1: Donner la relation $D_a = D_r + D_f$	*		122	7	11
	T2: En déduire l'expression de la distance de réaction $D_r = D_a - D_f$		*	100	10	30
	T3: Déterminer la distance de freinage à partir des données (voir le tableau)		*	85	14	41
	T4: Application numérique		*	83	16	41
	T5: Ecrire l'expression $D_r = V \times tr$	*		95	24	21
	T6: En déduire l'expression du temps de réaction $tr = D_r / V$		*	90	28	22
	T7: Application numérique		*	81	33	26
	T8: Déterminer l'unité de chaque valeur	*		60	35	45
2	T9: Donner la relation $D_a = D_r + D_f$	*		100	5	35
	T10: Ecrire l'expression de la distance de réaction $D_r = D_a - D_f$		*	80	15	45
	T11: Déterminer la distance de freinage à partir d'un tableau de données	*		62	18	60
	T12: Application numérique		*	75	27	38
	T13: Ecrire l'expression $D_r = V \times tr$	*		62	20	58
	T14: Ecrire l'expression du temps de réaction $tr = D_r / V$		*	61	21	58
	T15: Application numérique		*	60	20	60
	T16: Déterminer l'unité de chaque valeur	*		58	33	49

TABLEAU 2

Résultats relatifs au problème 2 (interactions mécaniques et forces) en termes de nombre d'élèves
(CD: connaissance déclarative, CP: connaissance procédurale)

Q	Les tâches à faire	CD	CP	Réussite	Echec	Non traité
1	T1: Savoir ce que signifie un corps en équilibre sous l'effet de deux forces	*		28	0	112
	T2: Savoir que l'intensité des deux forces est la même	*		52	27	61
	T3: Savoir : le sens d'une force est l'opposé de l'autre	*		50	20	70
	T4: Savoir : la direction des deux forces est la même	*		69	34	37
2	T5: Donner le corps exerçant l'action mécanique	*	*	44	20	76
	T6: Donner le corps qui subit l'action mécanique	*	*	50	5	85
	T7: Savoir le système étudié	*		37	0	103
	T8: Savoir les interactions à distance et de contact	*		44	20	76
	T9: Donner les forces appliquées au système étudié		*	44	20	76
3	T10: Indiquer la première force	*	*	12	0	128
	T11: Déterminer son point d'application		*	70	17	53
	T12: Déterminer sa direction		*	34	25	81
	T13: Déterminer son sens		*	36	20	84
	T14: Déterminer son intensité		*	39	15	86
	T15: Indiquer la deuxième force		*	10	0	130
	T16: Donner les caractéristiques de la deuxième force		*	10	0	130
4	T17: Indiquer le point d'action de la première force		*	70	17	53
	T18: Déterminer le sens de la force		*	37	20	83
	T19: Déterminer la direction de la force		*	34	25	81
	T20: Déterminer la distance représentant l'intensité de la force selon l'échelle indiquée		*	34	20	86
	T21: Indiquer le point d'action de la deuxième force		*	10	0	130
	T22: Déterminer le sens de cette force		*	10	0	130
	T23: Déterminer la direction de cette force		*	10	0	130
	T24: Déterminer la distance représentant l'intensité de cette force selon l'échelle indiquée		*	10	0	130
	T25: Ecrire le symbole des vecteurs forces	*		20	12	108
5	T26: Ecrire la relation entre m, g et le poids p	*		40	12	88
	T27: Déterminer la relation qui donne la valeur de g		*	25	15	100
	T28: Faire l'application numérique		*	25	42	73

TABLEAU 3

Résultats relatifs au problème 3 (poids et masse) en termes de nombre d'élèves (CD: connaissance déclarative, CP: connaissance procédurale)

Q	Les tâches à faire	CD	CP	Réussite	Echec	Non traité
1	T1: Savoir la relation $P = m \times g$	*		130	8	2
	T2: Ecrire l'expression de la masse $m = P/g$		*	126	12	2
	T3: Utiliser $g = 1.63 \text{N/kg}$ relatif à la lune		*	80	50	10
	T4: Application numérique		*	79	51	10
	T5: Respect de l'homogénéité des unités	*	*	50	44	46
2	T6: Savoir que la masse est constante	*		20	12	108
	T7: Savoir la relation $P = m \times g$	*		80	15	45
	T8: Utiliser $g = 9.81 \text{N/kg}$ relatif à la terre		*	53	42	45
	T9: Application numérique		*	40	13	87
	T10: Respect de l'homogénéité des unités	*	*	36	16	88
	T11: Savoir que le poids est variable		*	15	10	115
	T12: Montrer que le poids dépend de g .		*	10	15	15

ANALYSE

Analyse en termes de tâches

Les résultats en termes du nombre d'élèves sont transformés en pourcentage (tableaux 4, 5 et 6) et en graphes (Figures 1, 2 et 3) à l'aide du logiciel Excel ; et ce pour mieux analyser les tâches réalisées selon trois indicateurs (réussite, échec et non traités).

Problème 1: Étude du mouvement et repos

La représentation en pourcentage (%) des résultats obtenus pour le problème 1 concernant l'étude du mouvement et repos est donnée dans le tableau 4 et la figure 1.

La première question de ce problème correspond aux tâches T1-T8. La première tâche met en jeu une connaissance déclarative consistant à exprimer la distance d'arrêt de la véhicule par la relation $D_a = D_r + D_f$; cette tâche a été réussie avec un pourcentage important 87.1% (122 élèves). La tâche T2 vise à en déduire la distance de réaction en mettant en jeu des connaissances procédurales en rapport avec le calcul mathématique et le changement de signes lors de la résolution des équations simples. Cette tâche a été réussie avec un pourcentage moins important 71.4% (100 élèves) de celui de la

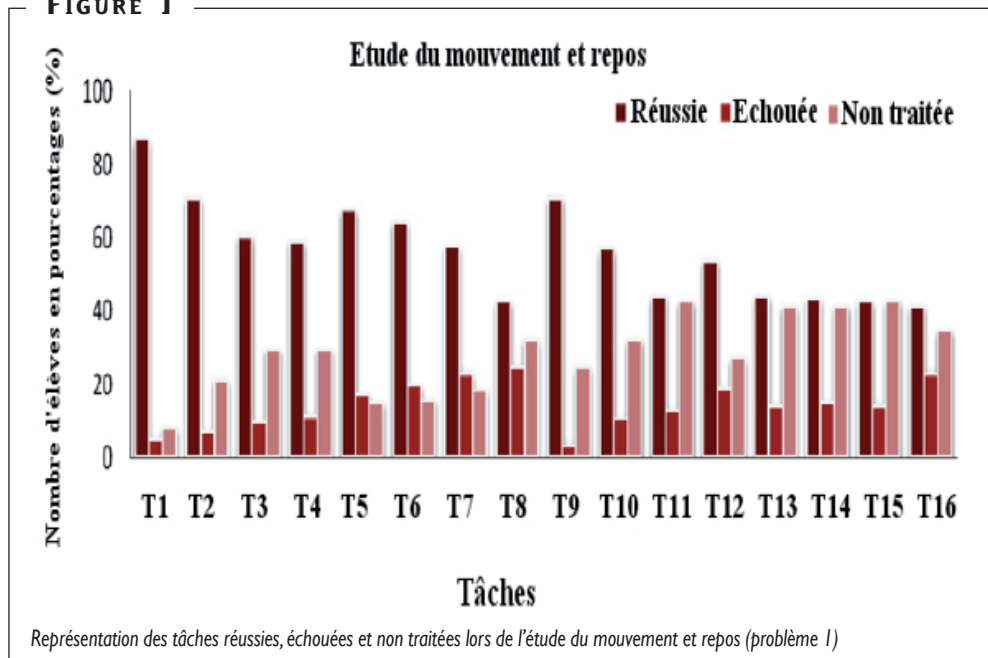
première tâche, ce qui témoigne du manque de prérequis mathématiques chez certains élèves qui n'ont pas pu réussir cette tâche.

TABLEAU 4

Résultats relatifs au problème 1 en termes de pourcentage d'élèves

Tâche	Réussie (%)	Echouée (%)	Non traitée (%)	Tâche	Réussie (%)	Echouée (%)	Non traitée (%)
T1	87.1	5	7.9	T9	71.4	3.6	25
T2	71.4	7.2	21.4	T10	57.1	10.7	32.2
T3	60.7	10	29.3	T11	44.3	12.8	42.8
T4	59.3	11.4	29.3	T12	53.6	19.3	27.1
T5	67.8	17.2	15	T13	44.3	14.3	41.4
T6	64.3	20	15.7	T14	43.6	15	41.4
T7	57.8	23.6	18.6	T15	42.8	14.4	42.8
T8	42.8	25	32.2	T16	41.4	23.6	35

FIGURE 1



La tâche T3 visant la détermination de la distance de freinage à partir d'un tableau de données a été réussie par 85 élèves (60.7%) alors que la tâche T4 visant de déterminer la distance de freinage, via un calcul numérique, a été réussie pratiquement par le même pourcentage (59.3 %) puisque les deux tâches sont dépendantes l'une de l'autre. Autrement dit, plusieurs élèves (environ 40%) n'ont pas réussi ces deux tâches (Echouée et non traitée) ; ce constat peut être expliqué par :

- Un manque d'attention chez ces élèves lors de la lecture des énoncés du problème, ce qui les empêche de décoder le sens exact de la question qui leur est transmise. Certains élèves utilisent la distance entre la voiture et le danger avant la réaction du chauffeur comme distance de freinage.
- Un manque de représentations mentales chez plusieurs élèves qui ont utilisé la distance entre la voiture et le danger avant la réaction du chauffeur comme distance de freinage, mais cette fois ci parce qu'ils ne pouvaient pas imaginer la situation exacte (la distance entre le danger et la voiture et la distance parcourue par la voiture entre le moment de freinage et le moment d'arrêt)
- Un manque de stratégies et de réflexion logique chez certains élèves qui ne savent pas utiliser le tableau de données pour soulever la distance de freinage de véhicule à partir de sa vitesse.

La tâche T5 portant sur la relation entre vitesse, temps et distance ($D_r = V \times t_r$) a été réussie avec un pourcentage important 67.8% (soit 95 élèves) alors que la tâche T6 visant la déduction du temps de la relation précédente a été réalisée en succès avec un pourcentage légèrement moins important à 64.3% (90 élèves). Les élèves qui n'ont pas pu répondre correctement à ces tâches sont au nombre de 45 pour la tâche T5 et 50 pour la tâche T6. En effet, un élève qui ne maîtrisait par la relation entre vitesse, temps et distance ne pourrait pas réussir des tâches relevant de cette relation. Le taux de réalisation de la tâche T6, moins important que celui de la tâche T5, montre aussi que certains élèves ont un problème au niveau mathématique concernant la résolution des équations simples. La tâche 7 qui est une application numérique a été réussie avec un pourcentage encore moins important 57.8% (81 élèves) que les pourcentages relatif aux tâches précédentes ; cela semble être normal parce que la réalisation de cette tâche dépend de la réussite des quatre tâches précédentes et parce que les élèves ont des problèmes au niveau des applications numériques. La tâche T8 a été réalisée en succès avec un pourcentage faible 42.8% (60 élèves) a causes de difficultés que rencontraient les élèves au niveau des dimensions des grandeurs physiques, ce qui se traduit par la confusion qu'elle avaient fait entre l'unité de temps t , de la distance d et de vitesse v .

En tout cas, les tâches procédurales T2-T7 sont considérées comme étant simples et faisaient l'objet des applications habituelles pour les élèves, se qui se traduit par

le fait qu'une bonne partie d'élèves a pu déterminer enfin la valeur du temps de réaction t_r en mobilisant des connaissances procédurales « calculs mathématiques ». Néanmoins, la dernière tâche T8 réalisée par le plus faible score implique que plus que la moitié d'élèves (57.2%) n'arrive pas à l'étape dite autonome au cours de laquelle, l'habileté de ces élèves n'est pas aussi automatisée et rapide ; c'est une étape de réglage et d'affinement des productions que seulement 42.8% d'élèves puisse y arriver.

La deuxième question correspond aux tâches T9-T16 similaires aux tâches de la première question (T1 à T8), mais avec des conditions différentes. Sans pour autant analyser tâche par tâche, nous avons constaté que le nombre d'élèves qui réussissent une telle tâche de la deuxième question est toujours inférieur à celui obtenu pour la même tâche de la première question. À part les explications faites pour les tâches de la première question et qui restent valables dans le cas des tâches de la deuxième question, il semble que le manque d'investissement et la lassitude chez les élèves contribuent efficacement dans la diminution de taux de réussite des tâches de la deuxième question.

Problème 2: Étude des interactions mécaniques et forces

La représentation en pourcentage (%) des résultats de l'étude des interactions mécaniques et forces (problème 2) est donnée dans le tableau 5 et la figure 2.

La première question du problème 2 correspond aux tâches T1-T4 dont la réussite nécessite des élèves des connaissances déclaratives sur l'équilibre d'un corps sous l'effet de deux forces, l'intensité, la direction et le sens de ces forces. La tâche T1 visant la détermination des deux forces appliquées a été réalisée par 20% des élèves; ce qui explique le manque de pré requis sur les forces appliquées sur un corps. Par ailleurs, les tâches T2, T3, T4 portant sur le savoir des intensités, du sens et de la direction des forces appliquées sur un corps en équilibre ont été réussies avec 37.1%, 35.7% et 69% des élèves, respectivement. Ces scores sont tous supérieurs du score réalisé pour la première tâche ; cela signifie que plusieurs élèves déclarent leurs connaissances sur les caractéristiques des forces appliquées en équilibre sans qu'ils puissent savoir exactement ce que signifie un corps en équilibre sous l'effet des forces mises en jeu.

Les tâches T5 à T9 relatives à la question 2 permettent de déterminer les forces appliquées au système étudié en connaissant les corps qui s'exercent des actions mécaniques à distance et de contact ; ces tâches ont été réussies avec des pourcentages supposés faibles 31.4%, 35.7%, 26.4%, 31.4% et 31.4%, respectivement. La réalisation de la tâche T5 et T6 demande des élèves des connaissances déclaratives et procédurales sur les interactions mécaniques entre un corps exerçant l'action mécanique et celui qui subit cette action. La réalisation des tâches T7 et T8 demande des élèves seulement

l'appropriation de connaissances déclaratives sur le système étudié et les interactions à distance et de contact mises en jeu. La tâche T9 met en jeu des connaissances procédurales permettant de déterminer les forces appliquées au système étudié. Nous constatons que moins de la moitié des élèves a pu réussir ces tâches (26.4-35.7%) même si ces tâches habituelles semblent a priori ne pas demander des élèves d la stratégie, de la réflexion abstraite et de représentations mentales claires.

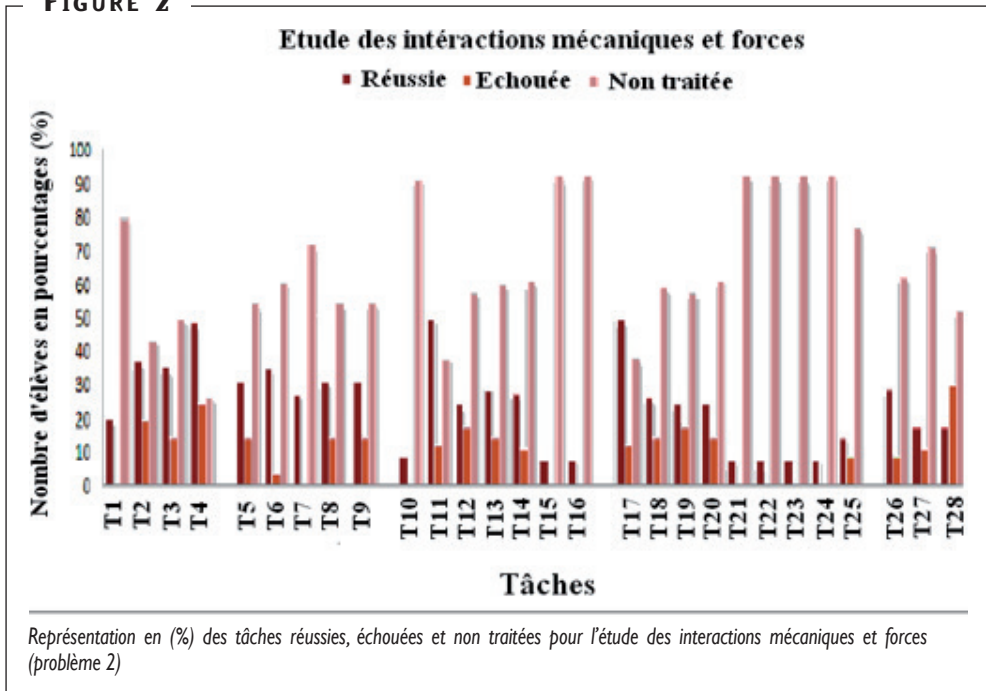
La question 3 correspond aux tâches T10-T16 faisant intervenir des connaissances procédurales concernant l'indication des deux forces mises en jeu et la détermination de leurs caractéristiques (point d'application, direction, sens, intensité). La tâche T10, visant l'indication de la première force appliquée par le fil sur la balle, a été réalisée avec un score très bas 8.6% (12 élèves) alors que les tâches T11, T12, T13 et T14 relatives aux caractéristique de cette force ont été réussies avec divers pourcentages (50%, 24,3%, 25,7%, 27,8%, 7.1%) ; ce qui indique que certains élèves peuvent déterminer les

TABLEAU 5

*Résultats relatifs au problème 2 (interactions mécaniques et forces)
en termes de pourcentage*

Tâche	Réussie (%)	Echec (%)	Non traités (%)	Tâche	Réussie (%)	Echouée (%)	Non traités (%)
T1	20	0	80	T15	7.1	0	92.9
T2	37.1	19.3	43.6	T16	7.1	0	92.9
T3	35.7	14.3	50	T17	50	12.1	37.9
T4	49.3	24.3	26.4	T18	26.4	14.3	59.3
T5	31.4	14.3	54.3	T19	24.3	17.9	57.8
T6	35.7	3.6	60.7	T20	24.3	14.3	61.4
T7	26.4	0	73.6	T21	7.1	0	92.9
T8	31.4	14.3	54.3	T22	7.1	0	92.9
T9	31.4	14.3	54.3	T23	7.1	0	92.9
T10	8.6	0	91.4	T24	7.1	0	92.9
T11	50	12.2	37.8	T25	14.3	8.6	77.1
T12	24.3	17.9	57.8	T26	28.6	8.6	62.8
T13	25.7	14.3	60	T27	17.9	10.7	71.4
T14	27.8	10.7	61.5	T28	17.9	30	52.1

FIGURE 2



caractéristiques de cette force sans qu'ils soient capables de l'indiquer correctement. Les tâches relatives à l'indication et la détermination des caractéristiques de la deuxième force « poids du corps » ne sont réalisés qu'avec un pourcentage relativement diminué (7.1%); ce qui n'est pas attendu de notre part, puisque ces tâches nous semblent être simples. Nous pouvons expliquer ces résultats par :

- Une mauvaise lecture des énoncés du problème qui empêche les élèves de se faire de bonnes représentations mentales « schémas » leurs permettent d'appréhender la situation (Sweller, 2003). Plusieurs élèves ne peuvent donc pas procéder à des associations mentales qui leurs permettent de représenter symboliquement le texte.
- Un manque de stratégies et de réflexes logiques chez beaucoup d'élèves considérés comme des novices en résolution de problèmes.

Les tâches (T17-T25) de la question 4 mobilisent des connaissances procédurales relatives à la schématisation du point d'application, le sens, la direction ainsi que la distance représentant l'intensité de la force selon l'échelle indiquée. L'indication du point d'application de la première force (T17) a été réalisée par la moitié des élèves (50%) alors que les tâches (T18, T19, T20) concernant la détermination et la schématisation des caractéristiques de cette force ont été réussies avec des scores faibles (26.4%, 24.3%, 24.3%). Les tâches (T21-T24) visant la détermination et la schématisation des caractéristiques de la deuxième force « poids du corps » ont été réussies avec un

pourcentage plus faible (7.1%). La tâche T25 portant sur l'écriture du symbole vecteur force a été réussie avec 14.3% des élèves. Généralement, les élèves éprouvent des difficultés pour déterminer et schématiser les caractéristiques des forces appliquées sur un corps en équilibre, en particulier pour la force s'exerçant de loin (poids du corps). Ce qui témoigne du manque de représentations mentales et manque de prérequis concernant le tracé des vecteurs forces à partir des échelles données.

Les tâches T26 à T28 de la question 4 portent sur l'énonciation de la relation entre la masse m , l'intensité de pesanteur g et le poids p ainsi que l'utilisation de cette relation pour déterminer l'expression et la valeur de g . Ces tâches ont été réalisées avec des pourcentages faibles, surtout pour les tâches T27 et T28 (17.9%) mettant en jeu des connaissances procédurales ayant trait au formalisme et au calcul numérique de la pesanteur g . Ce qui témoigne du manque de prérequis mathématiques chez la plupart des élèves qui éprouvent des difficultés pour utiliser des formules mathématiques simples et pour faire des applications numériques correctes.

Problème 3: Étude du poids et de masse

La représentation en pourcentage (%) des résultats obtenus pour le problème 3 relatif à l'étude du poids et de masse est donnée dans le tableau 6 et la figure 3.

La question (1) de ce problème renvoie à cinq tâches T1-T5 dont la première T1 et la dernière T5 correspondent aux connaissances déclaratives alors que (T2, T3, T4, T5) mettent en jeu des connaissances procédurales. Les deux tâches T1 et T2 permettant de donner l'expression $m=P/g$ ont été réussies par la plus part des élèves (92,8% et 90%). Ces tâches semblent être des applications habituelles et ne demandent pas des élèves beaucoup de réflexion et de stratégies. Les deux tâches (T3, T4) visant la détermination de la masse m en utilisant l'intensité de la pesanteur g sur la lune ont été réussies avec un score moyen proche de 57% ; cette diminution en pourcentage pourrait être du :

- À une mauvaise lecture des consignes de la part des élèves qui ne faisaient pas attention aux données du problème, surtout celles indiqués dans le tableau.
- Au manque de réflexion logique puisque le poids donné est mesuré sur la lune, donc il faut utiliser l'intensité de pesanteur de la lune pour calculer la masse des roches et non plus celui relatif à la terre utilisé par un nombre important d'élèves.

Si on tient compte de l'homogénéité des unités utilisée (T5), on se rend compte que ce score diminue pour atteindre 35.7% ; ce qui indique que certains élèves éprouvent des difficultés pour utiliser les unités convenables dans les calculs. Cela témoigne du manque de pré-requis chez ces élèves à propos des unités des grandeurs physiques (la masse, le poids et l'intensité de pesanteur) en système international.

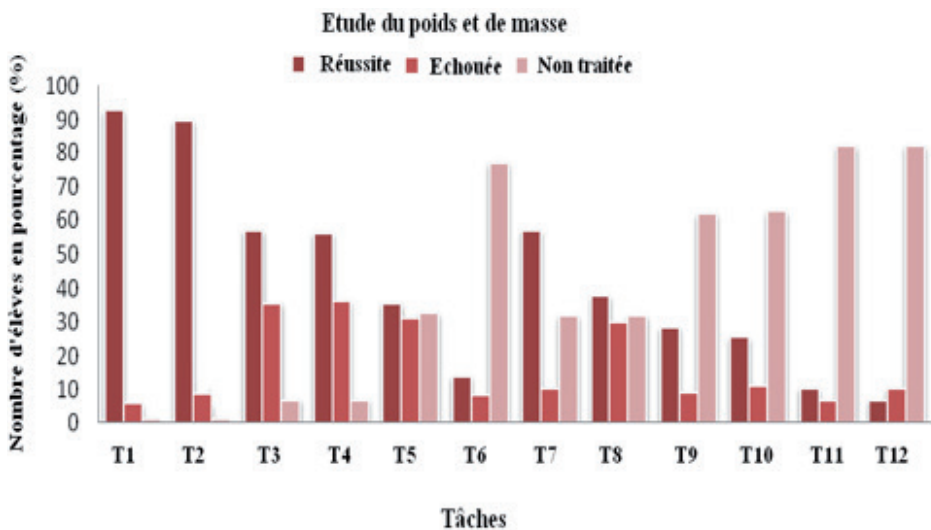
Les tâches T6 et T7 de la question (2) mettant en jeu des connaissances déclaratives sur la masse et la relation mesurant le poids P d'un corps ; ces tâches ont été réalisées

TABLEAU 6

Résultats relatifs au problème 3 en termes de pourcentage d'élèves

Tâche	Réussie (%)	Echouée (%)	Non traités (%)	Tâche	Réussie (%)	Echouée (%)	Non traités (%)
T1	92.8	5.8	1.4	T7	57.1	10.7	32.2
T2	90	8.6	1.4	T8	37.8	30	32.2
T3	57.1	35.7	7.2	T9	28.6	9.3	62.1
T4	56.4	36.4	7.2	T10	25.7	11.4	62.9
T5	35.7	31.4	32.9	T11	10.7	7.2	82.1
T6	14.3	8.6	77.1	T12	7.2	10.7	82.1

FIGURE 3



Représentation en (%) des tâches réussies, échouées et non traitées pour l'étude du poids et de masse (problème 3)

par des pourcentages tout à fait différentes (14.3% et 57,1%). Il est évident que plusieurs élèves savent la relation $[P = m \times g]$ sans qu'ils prennent conscience que la masse reste constante entre la lune et la terre. Les tâches T8-T12 toutes procédurales sont similaires à celles de la question 1, à l'exception des tâches T11 et T12 qui visent à savoir que le poids P, variable entre la lune et la terre, dépend de l'intensité de pesanteur g. Les tâches T7-T10 représentent les mêmes tâches de la première question (T1, T3 et T4) ; mais on constate que le nombre des élèves qui réussissent chaque tâche de la deuxième

question (le cas de la terre) est toujours inférieur à celui des élèves qui réussissent la même tâche dans la première question (cas de la lune). Cela peut être expliqué par un manque d'investissement chez les élèves qui se lassent de la situation et n'abordent pas comme il faut la deuxième partie de questions. De plus, les deux dernières tâches T11 et T12 ont été réalisées par une minorité d'élèves, soit respectivement avec 10.7% et 7.2%; ce qui témoigne d'un manque de stratégies et de réflexion chez la plus part des élèves pour résoudre des problèmes mettant en jeu masse, poids, intensité de pesanteurs dans différentes planètes. Les élèves se trouvaient donc devant de nouvelles situations où ils n'arrivent pas à se faire des représentations mentales abstraites, et par la suite ne s'approprient pas des schémas leur permettant de résoudre ce type de problèmes.

Analyse en termes de connaissances déclaratives et procédurales

Dans cette partie, nous analysons la réussite des tâches relevant des problèmes 1, 2 et 3 en rapport avec les connaissances déclaratives et procédurales mobilisées par les élèves en activités de résolution de problèmes (Tableaux 1, 2 et 3). Ces problèmes regroupent 56 tâches indiquées dont 23 tâches font intervenir des connaissances procédurales, 38 tâches nécessitent la mobilisation des connaissances déclaratives, et 5 tâches mettent en jeu les deux types de connaissances.

Si l'on considère qu'une tâche n'est réussie que lorsque le nombre d'élèves qu'ils l'ont réalisée dépasse la moitié du nombre total des élèves (ie ≥ 70 élèves), cela veut dire que le nombre total des tâches considérés comme réussies soit 16 dont 5 déclaratives et 11 à la fois déclarative et procédurales. Tenant compte de cette considération, le taux de tâches réussies par plus que la moitié des élèves est de 5/23 (21.74%) pour les tâches déclaratives, de 11/38 (28.95%) pour les tâches procédurales, et 0% pour les tâches faisant intervenir à la fois des connaissances déclaratives et procédurales. Le tableau 7 illustre le taux de réussite des tâches déclaratives, procédurales et déclaratives/procédurales des trois problèmes. La représentation de ces résultats est donnée dans la figure 4.

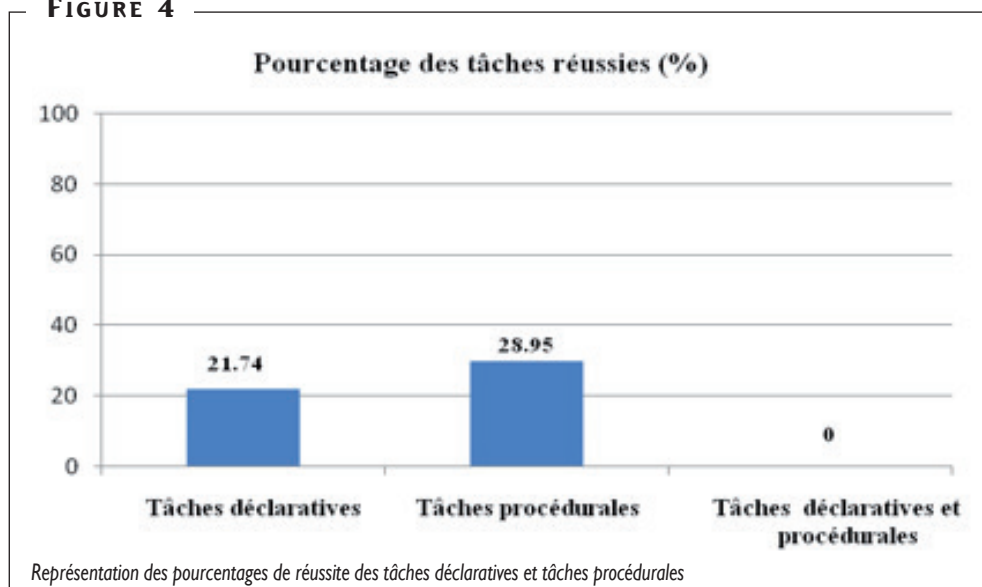
Le pourcentage des tâches réussies montre que beaucoup d'élèves n'arrivent pas à mobiliser leurs connaissances déclaratives et procédurales lors des activités de résolution de problèmes de mécanique. Mais en particulier, les élèves mobilisent davantage les connaissances procédurales que les connaissances déclaratives, ce qui n'est pas prévu a priori. Cela signifie que la majorité des élèves ne peuvent pas déclarer les connaissances mémorisées une fois cela leur a été demandé, ou bien ces élèves ne se représentent pas correctement des concepts de mécanique qui leurs sont nouveaux. Quand il est nécessaire de mobiliser les deux types de connaissances à la fois, on constate le taux de réalisation de telles tâches est nul ; ce qui explique les difficultés de la majorité des élèves à articuler les connaissances déclaratives avec les connaissances

TABEAU 7

Pourcentage de réussite des tâches déclaratives, procédurales et déclaratives/procédurales des trois problèmes 1, 2 et 3

	Nombre total des tâches	Nombre de tâches réussies	Pourcentage de tâches réussies (%)
Tâches déclaratives	23	5	21.74
Tâches procédurales	38	11	28.95
Tâches à la fois déclaratives et procédurales	5	0	0

FIGURE 4



procédurales ; ce qui témoigne des difficultés des élèves à réussir ce type de tâches en résolution de problème de mécanique. Ces élèves n'ont pu donc montrer des attitudes de raisonnement pour construire des stratégies de résolutions de problèmes. Selon l'approche «Instructional design» approach (Pass & van Merriënboer, 1993; Salden, Paas & van Merriënboer, 2006; Pass, Renkl & Sweller, 2003; De Croock & van Merriënboer, 2007), l'incapacité à articuler les connaissances déclaratives et procédurales peut être expliqué par un manque de représentations mentales abstraites qui empêche les élèves de construire des schémas de résolution de problèmes.

DISCUSSION

L'analyse des résultats montre que les élèves de troisième année de secondaire collégial ont réussi davantage les tâches déclaratives et procédurales relatives au mouvement et repos. Les élèves réussissaient moyennement les tâches relatives au poids et masse, alors qu'ils éprouvent de sérieuses difficultés pour accomplir les tâches correspondantes aux interactions mécaniques et forces.

Pour analyser l'impact de l'organisation des tâches sur l'élaboration des connaissances chez les élèves novices, nous avons opté pour des problèmes fermés, contenant parfois des tâches ouvertes (complexes). Le nombre d'élèves qui ont pu réussir les tâches (procédurales) semble augmenter par rapport à ceux qui ont réalisé les tâches déclaratives, ce qui n'est pas en harmonie avec l'approche observant la prévalence d'une hiérarchisation des problèmes du simple vers le complexe (Gagné, 1962; Gagné, 1968; Frederiksen & White, 1989). Selon cette approche, la réussite des tâches finales complexes se fait beaucoup mieux avec étayage des problèmes en tâches allant du simple vers le complexe. Or, l'analyse des tâches accomplies (tableau 4) montre que la plus part des élèves n'est pas amenée à acquérir des connaissances ou compétences à un niveau hiérarchique important leur permettant d'atteindre le niveau de la tâche finale (complexe). Il semble que le mode d'instruction basé sur la décomposition de la tâche en sous-but et la mise en place de situations permettant d'acquérir progressivement les compétences liées à ces sous-but n'a pas donné des résultats positifs, puisque les apprenants soumis à ce type d'instruction organisé ne réussissent pas davantage les tâches complexes.

D'autre part, plusieurs difficultés (blocages, erreurs, manque de motivations, manque d'investissement et la lassitude ...) empêchent plusieurs élèves d'aborder toute les parties des problèmes qui leurs sont soumis. D'autres élèves ne s'accrochent pas et abandonnent très vite la résolution de ces problèmes, ce qui peut être expliqué par :

- La non-compréhension de certains mots-clés ou de concepts, problème sémantique, linguistique, manque de pré requis, etc..., ce qui est révélé par le fait que la majorité des élèves ne réussissent pas facilement les tâches dont ils devaient mobiliser leurs connaissances déclaratives. Si le manque de pré-requis est ponctuel, cela peut être surmonté par un rappel rapide par l'enseignant; ce qui n'est pas possible si le manque est beaucoup plus important.
- Manque de stratégies et de réflexes logiques permettant de passer à l'étape autonome dans le processus de construction de connaissances procédurales chez plusieurs élèves qui semblent manquer de situations complexes de référence ; ces élèves ne savent pas comment aborder les problèmes posés, ce qui les amène à se replier sur des opérations à appliquer en se référant aux certains problèmes déjà vus.

- Manque de représentations mentales abstraites sur des phénomènes mécaniques, en particulier les interactions mécaniques et forces. Plusieurs élèves ne pouvaient pas procéder à des associations mentales qui permettraient de représenter symboliquement le texte ; ce qui rend ces élèves incapables à élaborer des schémas pour la résolution de problèmes proposés.

Cette étude vise l'analyse des difficultés des élèves marocains de deuxième année du collège lors des activités de résolution de problèmes de mécanique. Ces recherches se sont appuyées sur l'analyse de productions écrites des élèves « novices » en situation de résolution de problèmes. Les difficultés des élèves ont été analysées et discutées termes de connaissances déclaratives et procédurales mobilisées par ces élèves pour réussir des tâches relatives aux problèmes de mécanique. L'impact de l'organisation des tâches sur l'élaboration des connaissances chez les élèves novices semble être en harmonie avec l'approche observant la prévalence d'une hiérarchisation des problèmes du simple vers le complexe.

RÉFÉRENCES

- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Anderson, J. R. (1985). *Cognitive Psychology and its applications*. San Francisco: W. H. Freeman.
- Boilevin, J.-M. (2005). Enseigner la physique par situation problème ou par problème ouvert. *Aster*, 40, 13-37.
- Caillot, M., Dumas Carré, A., & Goffard, M. (1988). *PROPHY: Une méthode pour résoudre des problèmes de physique*. Paris: LIREST - Université de Paris VII.
- Carlson, R., & Yaure, R. G. (1990). Practice schedules and use of component skills in problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 16(3), 484-496.
- Chi, M. T. H., Feltovitch, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- De Croock, M., & Van Merriënboer, J. (2007). Paradoxical effects of information presentation formats and contextual interference on transfer of a complex cognitive skill. *Computer in Human Behaviour*, 23, 1740-1761.
- Dumas Carré, A., & Goffard, M. (1997). *Rénover les activités de résolution de problème en physique. Concept et démarches*. Paris: Armand Collin.
- Frederiksen, J., & White, B. (1989). An approach to training based upon principled task decomposition. *Acta Psychologica*, 71, 89-146.
- Gagné, R. (1962). The acquisition of knowledge. *Psychological Review*, 69(4), 355-365.
- Gagné, R. (1968). Learning hierarchies. *Educational Psychologist*, 6, 1-9.
- Gagné, E. D. (1985). *The cognitive psychology of school learning*. Boston, Toronto: Little Brown Company.
- Giordan, A. (1998). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Paris: Belin.
- Glover, J. A., Ronning, R. R., & Brunning, R. H. (1990). *Cognitive psychology for teachers*. New York: Macmillan Publishing Company.

- Goffard, M. (1994). *Le problème de physique et sa pédagogie*. Paris: ADAPT.
- Goffard, M., & Goffard, S. (2003). Interactions entre élèves et résolution de problèmes. *Aster*, 37, 165-187.
- Greeno, J. G. (1978). A study of problem solving. In R. Glaser (Ed.), *Advances in instructional psychology* (Vol. 1, pp. 77-165). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hoc, J.-M. (1987). *Psychologie cognitive de la planification*. Grenoble: PUG.
- Mazouze, B. (2011). Raisonnements et difficultés des élèves en résolution de problèmes de physique : cas des interférences mécaniques. *BUPPC*, 931, 221-241.
- Mazouze, B. (2016). Des difficultés en résolution de problèmes de physique : quelles aides pour les élèves ? *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 3(2), 258-268.
- Mazouze, B., & Lounis, A. (2015). Résolution de problèmes et apprentissage des ondes : quels types de difficultés rencontrent les élèves ? *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 9(2), 25-40.
- Neves, D. M., & Anderson, J. R. (1981). Knowledge compilation: Mechanisms for the automatization of cognitive skills. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp. 86-102). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Newell, A., & Simon, H.A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Ntalakoura, V., & Ravanis, K. (2014). Changing preschool children's representations of light: a scratch based teaching approach. *Journal of Baltic Science Education*, 13(2), 191-200.
- Orange, C. (2005). Problème et problématisation dans l'enseignement scientifique. *Aster*, 40, 3-11.
- Paas, F., & Van Merriënboer, J. (1993). The efficiency of instructional conditions. *Human Factors*, 35(4), 737-743.
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1-4.
- Ravanis, K. (2010). Représentations, Modèles Précurseurs, Objectifs-Obstacles et Médiation-Tutelle: concepts-clés pour la construction des connaissances du monde physique à l'âge de 5-7 ans. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 5(2), 1-11.
- Richard, J.-F. (1990). *Les activités mentales*. Paris: Armand Collin.
- Reif, F. (1983). *Understanding and teaching problem solving in physics*. In G. Delacôte & A. Tiberghien (Eds), *Recherche en didactique de la physique* (pp. 15-53). Paris : CNRS.
- Salden, R., Paas, F., & Van Merriënboer, J. (2006). A comparison of approach to learning task selection in the training of complex cognitive skills. *Computer in Human Behaviour*, 22, 321-333.
- Sall, C. T. (2002). *L'auto-évaluation du profil d'entrée: une stratégie constructiviste dans la formation professionnelle initiale des enseignants*. Paper presented at 2èmes Assises du CIFFERSE: l'enseignement des sciences expérimentales, Dakar, 8-10 Avril 2001.
- Schmidt, R. A., & Bjork, R. A. (1992). New conceptualizations of practice: common principles in three paradigms suggest new concepts for training. *Psychological Science*, 3, 207-217.
- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. In B. Ross (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 43, pp. 215-266). San Diego: Academic Press.
- Tardif, J. (1992). *Pour un enseignement stratégique L'apport de la psychologie cognitive*. Montréal: Éditions Logiques.
- Van Merriënboer, J., Kester, L., & Paas, F. (2006). Teaching complex rather than simple tasks. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 343-352.